

TESINA

10 (1700). -

"MELANINA EN OIDO INTERNO"



Flga. BARBARA GABRIELA FIOI

M.N: 5434

Padrino de Tesis: DR. MIGUEL ANGEL DORES

M.N.: 27560

M.P.: 22439



USAL
UNIVERSIDAD
UNIVERSIDAD DEL SALVADOR

FACULTAD DE MEDICINA

ESCUELA DE DISCIPLINAS PARAMEDICAS

Año de presentación: 2001

Indice Temático

USAL
UNIVERSIDAD
DEL SALVADOR

- INTRODUCCION
- HIPOTESIS
- MARCO TEORICO

-El oído y el sonido

- Definiciones: Sonido. Ruido. Decibel. Baria. Dina.
- Reseña anatomofuncional del oído humano.
- El oído: complicado y delicadísimo sentido que permite transformar los sonidos y los ruidos en impulsos nerviosos.

-Trauma Acústico

- Definición.
- Antecedentes históricos.
- Anatomía patológica.
- Etiopatogenia.
- Bases fisiopatológicas.
- Factores determinantes.
- Clínica.
- Diagnóstico.
- Tratamiento.
- Trauma Acústico Profesional.

-Aeroacústica

-Biología del sistema pigmentario de la melanina. Bioquímica de la melanización

- Biología de los melanocitos.
- Componentes del sistema pigmentario de la melanina.
- Enzimología de la formación de melanina.
- Regulación de la melanogénesis.
- Genética: pigmentación melánica animal.
- Unidad melánica epidérmica.
- Implicaciones funcionales de la unidad melánica epidérmica.
- Sistema melanocítico y el ciclo vital del mamífero.
- El color de los ojos y su relación con la melanina.
- Localizaciones específicas de los melanocitos.

- MATERIAL Y METODO

- CASUISTICA: Anamnesis audiológica - Audiometrías - Comentario de cada paciente.
 - Pacientes de ojos oscuros: paciente 1 al 10 inclusive.
 - Pacientes de ojos claros: paciente 11 al 20 inclusive.

- ESTADISTICA DE RESULTADOS

- CONCLUSION

- BIBLIOGRAFIA

- CURRICULUM VITAE DR. MIGUEL ANGEL DORES

Introducción



USAL
UNIVERSIDAD
DEL SALVADOR

La naturaleza es sabia: ningún ruido supera los 80 db. Ni la rompiente del mar, ni las Cataratas del Iguazú, ni un trueno en medio de la noche. Los sonidos naturales son graves y para ellos está preparado el oído humano. Sin embargo, la ciudad está plagada de sonidos agudos como las bocinas, las sirenas (ambulancias, patrulleros, bomberos), los despertadores y un sinfín de ruidos molestos más que afectan progresivamente la audición (si la exposición es prolongada a más de 80 db), la psiquis y la sociabilidad.

Las acciones bélicas, policiales y terroristas, el desarrollo e incremento de las industrias, el tránsito motor en cualquiera de sus formas, el propio entorno del hogar, la cantidad de lugares en donde la juventud escucha música, la introducción de los "walkman" en el mercado del audio, han estimulado el interés por los distintos tipos de ruidos y sus consecuencias.

Desde épocas muy remotas se conoce el efecto perjudicial que tienen los ruidos muy intensos sobre el órgano de la audición, ocasionando lesiones de tipo agudas o crónicas según la duración, intensidad, tipo de ruido, y labilidad de la cóclea.

Respecto de la labilidad de la cóclea, en este trabajo veremos qué significa tener Melanina.

La melanina es un pigmento que se deposita en el cabello, piel, iris y leptomeninges de los mamíferos. Es el determinante principal de la coloración cutánea entre los individuos, y funciona principalmente como una pantalla para la radiación ultravioleta (UV) solar. Es una barrera contra los efectos perjudiciales de la exposición solar extensa y crónica, brinda protección a la piel contra el daño causado principalmente por la irradiación UV no ionizante.

Este pigmento castaño oscuro es sintetizado por células llamadas melanocitos.

Los melanocitos también se localizan en el oído interno. En este trabajo intentaremos comprobar si a este nivel la melanina también actúa como barrera protegiendo al oído de los ruidos intensos.

El color de los ojos está determinado por el contenido de melanina en el iris, por lo tanto utilizaremos esto como guía para establecer la sensibilidad al ruido en una persona.

USAL
UNIVERSIDAD
DEL SALVADOR



USAL
UNIVERSIDAD
DEL SALVADOR

La melanina localizada en el oído interno, a nivel coclear y vestibular, protege al oído disminuyendo los daños ocasionados por estímulos sonoros demasiado intensos.

Los individuos de ojos claros (con escasos melanocitos en el iris, y, en consecuencia, escasés de melanina) son más susceptibles al trauma acústico, que los individuos de ojos oscuros.

La melanina, en sujetos de ojos oscuros, protege al oído de los sonidos intensos tal como preserva a la piel de la acción dañina de los rayos solares.



USAL
UNIVERSIDAD
DEL SALVADOR

Marco Teórico

USAL
UNIVERSIDAD
DEL SALVADOR

El oído y el sonido



USAL
UNIVERSIDAD
DEL SALVADOR

Para comenzar tendremos en cuenta las siguientes definiciones:

***Sonido**: sensación que se percibe por medio del oído, es una energía mecánica oscilatoria a pequeño período.

Cuando se golpea un cuerpo sonoro, sus moléculas experimentan un movimiento de ondulación o vibración. El aire que rodea a este cuerpo participa de dicho movimiento y forma, en torno suyo, ondas que no tardan en llegar al oído. El aire es pues el principal vehículo del sonido que se propaga a una velocidad de 340 metros por segundo a 15° de temperatura (a 0° es de 331 mts/seg.).

Características del sonido: - **Intensidad**: se mide a través de la presión alternativa causada por la vibración de las moléculas y equivale a la potencia mecánica del movimiento vibratorio expresado en microvatios/cm².

- **Altura**: es en función de la frecuencia, aunque también varía con la intensidad, pudiéndose evaluar por una comparación cuya unidad es el MEL.

Si imaginamos una molécula en vibración, veremos que a partir de su punto de equilibrio ésta realiza un desplazamiento, primero en un sentido y después en el sentido opuesto; una excursión entera; es decir, un movimiento completo, se denomina ciclo. La distancia recorrida por la molécula a partir del punto de equilibrio constituye la amplitud de la vibración y define la intensidad del sonido; si contamos después el número de ciclos por segundo, obtendremos la frecuencia de la vibración, la cual es el elemento principal para determinar la altura o tonalidad del sonido.

Cuando las características de la onda sonora, como la amplitud, la frecuencia, etc., son constantes, la onda se llama "musical"; en otro caso se obtienen simplemente ruidos.

***Ruido**: sensaciones auditivas desagradables con características propias como son la intensidad, frecuencia, duración y timbre. La duración está en relación directa con la caída transitoria de umbrales, pues al principio las células se edematizan poniéndose de manifiesto que el órgano de Corti sufre pero no se lesiona, luego si el estímulo sonoro persiste existe lesión celular determinando una caída permanente.

El ruido es una composición de sonidos diversos sin ninguna armonía; es decir, sonido desarticulado y confuso más o menos fuerte. Podemos hablar de dos tipos de ruido:

- **Ruido continuo**: es el que mantiene una presión sonora más o menos constante y en un tiempo prolongado.

- **Ruido impulsivo**: es un ruido caracterizado por el aumento de presión sonora, de muy rápido comienzo y muy corta duración (menos de 50 milésimos de segundo).

Este aumento de presión sonora puede darse por un solo evento (explosión) o bien por una serie de impulsos repetidos separados por lapsos de igual o diferente duración (disparos de armas).

Fuente de origen de los RI: explosiones, impactos, fenómenos electroacústicos, etc.

Parámetros físicos que más influyen en el daño auditivo: A) Valor pico de la presión sonora; B) Frecuencia del espectro; C) Tiempo de duración del valor pico; D) Densidad de los niveles sonoros pico. El problema se plantea por la corta duración de estos tipos de RI que son siempre menores de 50 milésimas de segundo y por ello se requiere una metodología e instrumental especiales para llevar a cabo estas determinaciones.

Caracteres físicos del ruido impulsivo: pueden ser determinados en condiciones experimentales, por ejemplo midiendo las características de un disparo en una cámara anecoica en un tiempo determinado. Observando los picos de presión y la duración, se puede

tener una idea de la energía. Se pueden determinar:

- Duración: puede calcularse fácilmente en condiciones experimentales, y más difícilmente en condiciones prácticas debido a fenómenos de reflexión, distancia de los equipos medidores, absorción de las superficies vecinas, etcétera.

- Composición sonora: aunque para el oído humano sean de interés sólo las frecuencias entre 20 y 20.000 ciclos, démosnos cuenta que al recibir sólo esta banda del espectro el oído funciona como un filtro que distorsiona las ondas de frecuencias registradas. El análisis de las bandas sonoras por octavas, también ayuda a los análisis y a la toma de resoluciones en Ingeniería Acústica.

- Presión del pico sonoro: se determina directamente con el registro del pico de la onda. Hay que recordar que en el diseño de los instrumentos deben tomarse en cuenta los altos valores que se manejan porque sino la señal resulta cortada por la saturación de los instrumentos.

La determinación de estos valores: presión del pico sonoro, su duración y el número diario de exposiciones, orientarán hacia los efectos que esos RI pueden causar en el oído humano. En cuanto a la naturaleza de dicho daño, las células ciliadas son afectadas en sus condiciones metabólicas o su integridad anatómica. Las experiencias conocidas y llevadas a cabo son muy amplias en los ruidos industriales (ruidos continuos + ruidos impulsivos), considerando que por debajo de 90 db del llamado "nivel sonoro continuo equivalente" (Decreto 351/79 Capítulo 13) no hay riesgos, y por encima de 115 db siempre hay daño, aunque sea por una exposición muy corta. Entre 90 y 115 db influyen numerosos factores: susceptibilidad personal, caracteres del ruido y de la exposición, entre otros.

A continuación se dan algunas definiciones de medidas utilizadas en física acústica:

- ***Decibel**: es la menor intensidad sonora perceptible por el oído humano. Décima parte de un Bel. Unidad logarítmica que expresa una proporción absoluta entre dos magnitudes. Se aplica en electricidad (comparación entre dos intensidades luminosas) y en acústica (expresión de la proporción entre dos intensidades o dos presiones acústicas). En Audiología el decibel es el menor sonido audible en un oído normal y la menor fluctuación perceptible en la intensidad del sonido. Es una unidad física convencional y absoluta dada por la unidad de presión. Esta unidad equivale a 0,000204 de baria.

- ***Baria**: es una unidad de presión; representa fuerza sobre superficie (dada por la dina y el centímetro cuadrado).

- ***Dina**: fuerza necesaria para imprimir una aceleración de 1 cm/seg. a un gramomasa.

Reseña anatomofuncional del oído humano: cómo está constituido el oído para poder recibir los sonidos procedentes del ambiente

Ya que lo que llamamos sonido es una onda que se genera y se propaga en el ambiente y después es percibida y reelaborada por nuestro sistema nervioso, veamos quién es el encargado de realizar este trabajo, que se encuentra en la zona límite entre el ambiente externo y nuestro cuerpo.

El oído se divide clásicamente en tres partes: oído externo, oído medio y oído interno.

El oído externo está formado por el pabellón de la oreja (concha auricular), que es un cartilago elástico cubierto por piel muy vascularizada, la cual se halla adherida muy firmemente al cartilago en su parte anterior. La forme del pabellón de la oreja humana, a

diferencia de la mayoría de los animales, sólo produce una pequeña orientación e intensificación de los sonidos.

El pabellón auricular se continúa con el conducto auditivo externo, que es un tubo más o menos circular de unos 3 centímetros de longitud, que en su mitad externa está sostenido por el cartílago y recubierto de piel que contiene abundantes formaciones anexas: pelos, glándulas sebáceas y grandes glándulas sudoríparas especializadas (glándulas ceruminosas). En su parte interna está formado por hueso y sólo recubierto por piel que no posee formaciones anexas. Esta piel se transforma directamente en la capa externa de la membrana del tímpano.

El conducto auditivo externo protege al oído medio de las influencias exteriores y refuerza la presión del sonido en la membrana del tímpano dentro del campo de frecuencia del lenguaje.

El oído medio es una cavidad llena de aire separada del conducto auditivo externo por la membrana del tímpano y contiene en su interior la cadena de huesecillos (martillo, yunque y estribo). Está comunicado con la rinofaringe mediante la trompa de Eustaquio y hacia atrás se une con un conjunto de cavidades más o menos desarrolladas de la apófisis mastoides.

La membrana timpánica es infundibuliforme. Su membrana propia compuesta por fibras anulares y radiales hace que los dos tercios medios se comporten como una lámina semirrígida, mientras que las porciones periféricas flexibles sirven de suspensión móvil. Para la conducción mínima de la transmisión sonora, la membrana timpánica no presenta ninguna resistencia al aire, de manera que está perfectamente adaptada al sonido aéreo.

Las oscilaciones de la membrana timpánica son transmitidas a la cadena de huesecillos por el martillo, cuyo mango está englobado en dicha membrana. La cadena de huesecillos se compone del martillo, el yunque y el estribo, los cuales se articulan entre sí. El estribo, mediante su platina, está encajado por cortas fibras elásticas en la ventana oval de la pared del laberinto (oído interno). Las oscilaciones son transmitidas al estribo (por la cadena osicular) que presiona como un émbolo sobre el líquido contenido en el laberinto.

El oído medio se ocupa de la adaptación del sonido aéreo al órgano del oído interno que trabaja en un medio líquido. Al transmitir el sonido aéreo a una superficie acuosa, que presenta una resistencia sonora mucho más grande que el aire, se refleja la mayor parte de la energía sonora y solamente una milésima parte estimula las moléculas líquidas para que vibren.

La acción se obtiene en pequeña parte mediante la acción de palanca de los huesecillos, pero en su mayor parte mediante la proporción de magnitud entre la parte oscilante de la membrana del tímpano y la platina del estribo. Ambos factores se multiplican entre sí y dan un aumento de intensidad del sonido en la ventana oval del orden de 20 aproximadamente y su cuadrado (400) proporciona la mencionada mejoría obtenida en la transmisión de la energía sonora. Expresada en la unidad de medida de decibeleles, esta acción del aparato de conducción produce una mejoría del umbral de audición de 26 decibeleles.

El oído interno o laberinto se encuentra dentro de una maciza cápsula ósea del hueso temporal. Contiene el aparato vestibular (equilibrio) y la cóclea (audición).

En el interior de la cóclea se encuentra el órgano de Corti, el cual es el encargado de transformar un estímulo físico (onda sonora) en excitación fisiológica.

El órgano de Corti está constituido esencialmente por células sensoriales, es decir, células capaces de transformar el estímulo en impulso nervioso, y por células de sostén. Las células sensoriales, que son aproximadamente 16.000 a cada lado, en una extremidad terminan con

varias prolongaciones finas similares a pestañas llamadas células en cepillo, y por la otra se apoyan sobre algunas de las células de sostén. Las células en cepillo están en relación con una membrana más bien rígida, poco móvil, que cubre el órgano de Corti, llamada membrana tectoria. Las células de sostén que rigen las células sensoriales se apoyan, en cambio, sobre la membrana basilar, la cual, a diferencia de la membrana tectoria, si es necesario, es capaz de realizar oscilaciones más amplias. En cualquier caso, es importante tener presente que las dos membranas se pueden mover con una cierta libertad entre sí.

En su conjunto, el órgano de Corti aparece como un túnel, que sigue, envolviéndose, la dirección del caracol, en cuanto que dos filas de células especiales llamadas pilastros, se inclinan hasta unirse en su porción superior y delimitan una especie de galería triangular o galería de Corti.

Con las células sensoriales están en conexión las ramificaciones periféricas de células nerviosas contenidas en el espesor del modiollo, cuyas ramificaciones centrales se dirigen al conducto auditivo interno a través de finos canales y forman la porción coclear del VIII par de nervios craneales (nervio acústico), la cual se compone precisamente de dos partes: nervio coclear y nervio vestibular.

Las células contenidas en el modiollo constituyen en su conjunto el ganglio espiral de Corti.

Si se efectúa un corte en las espiras del caracol, observamos que cada una de estas espiras se encuentran divididas en tres partes: conducto coclear, escala vestibular y escala timpánica, encontrándose en el centro del caracol el antes mencionado ganglio espiral con el nervio auditivo.

Las diferentes impresiones sonoras son analizadas en forma de frecuencias aisladas de diferente intensidad en ordenación temporal. Las características de las ondas sonoras en el oído interno, están determinadas por el ancho de la membrana basilar y por la disminución del ancho del conducto óseo del caracol desde su base hasta su vértice.

Al producirse la oscilación del estribo se origina una onda progresiva en el tabique del caracol cuyo alcance está determinado por las propiedades de los conductos del caracol y la frecuencia de las oscilaciones. Al difundirse estas ondas progresivas se forma un torbellino en la perilinfa del conducto vestibular, la onda progresiva de tono elevado se extingue ya cerca del estribo, mientras que las de los tonos medios llegan hasta la mitad del caracol y los tonos graves alcanzan el helicotrema. Mediante las oscilaciones de la membrana basilar, las células sensitivas son comprimidas contra la membrana tectoria, o desplazadas, quedando los cilios doblados y con ello se excitan dichas células.

Las ondas de la perilinfa pueden producirse en otros puntos del caracol, lo que explica la condición ósea en la cual se perciben sonidos al ponerse en vibración los huesos craneanos cuando se coloca un diapasón vibrando sobre el vértice del cráneo.

En las células sensitivas estos estímulos se transforman en descargas nerviosas (codificadas) y las señales con esta modulación de frecuencia son conducidas pasando por el ganglio espiral y el nervio acústico hasta el tallo cerebral.

Con todo lo explicado, podemos considerar dos grupos de estructuras anatómicas:

- Unas sirven para la transmisión de los sonidos: aparato de transmisión: éste comprende: el oído externo; el oído medio con el aparato de acomodación osicular: tímpano, martillo, yunque, estribo, ligamento, músculos; el paso a nivel de la cápsula ótica por las ventana oval y ventana redonda; los medios líquidos del oído interno, las membranas del canal coclear y, principalmente, la membrana basilar.

-Otros sirven para la percepción de los sonidos: aparato de percepción o aparato nervioso: éste comprende el órgano de Corti, con células sensoriales y con terminaciones nerviosas, el nervio auditivo, las escalas, las vías y centros superiores. Existen dos clases de fibras: las fibras sensoriales propiamente dichas o aferentes y las fibras eferentes.

a) Células sensoriales: 10.000 células ciliadas se reparten de una forma topográfica determinada a lo largo del canal coclear. Unas, muy sensibles, funcionan para muy débiles intensidades del umbral auditivo. Se encuentran en la parte más móvil de la membrana basilar: las células ciliadas externas; las otras no intervienen más que a una cierta intensidad del estímulo (50 dB) y se localizan en la parte interna del canal coclear: las células ciliadas internas. Tomadas aisladamente, estas células son unos elementos unitarios táctiles que transforman la energía mecánica, deformando sus cilios del polo superior en influjo nervioso sobre las terminaciones de las fibras nerviosas sensoriales (aferentes) del polo inferior. Lo que es específico de la audición no es, pues, la célula ciliada del órgano de Corti tomada individualmente, sino el conjunto de esta población celular en la topografía perfectamente determinada en el espacio. Está situada en la cóclea, que no puede ser recorrida más que por unas ondas de frecuencia e intensidad determinadas. Estos 10.000 elementos celulares ciliados empalman con las terminaciones de 50.000 fibras nerviosas sensoriales.

b) Fibras sensoriales:

-La primera neurona tiene su célula en el ganglio espiral de Corti y transporta el influjo desde el órgano de Corti a los núcleos bulbares acústicos, el núcleo acústico lateral o dorsal y el núcleo acústico anterior, situados ambos en la parte lateral del pedúnculo cerebeloso inferior.

-La segunda neurona pasa directamente a través de la masa bulbar, hasta el núcleo del cuerpo trapezoides homolateral o heterolateral; puede igualmente, para llegar a este último, seguir las estrías acústicas sobre el suelo del cuarto ventrículo.

-La tercera neurona puede adoptar tres trayectos: 1) Puede ser heterolateral. Sale directamente del cuerpo trapezoides del lado opuesto, se dirige a la parte lateral de la cinta de Reil y llega al tubérculo cuadrigémino posterior opuesto. 2) Puede ser homolateral. Sube directamente desde el núcleo del cuerpo trapezoides homolateral hasta el tubérculo cuadrigémino posterior por la parte lateral de la cinta de Reil y no pasa jamás la línea media. 3) Puede nacer en el cuerpo trapezoides del mismo lado, pero inmediatamente después, atravesar la línea media en el cuerpo trapezoides. Luego se dirige a la parte lateral de la cinta de Reil del lado opuesto, para llegar al tubérculo cuadrigémino heterolateral.

-La cuarta neurona va desde el tubérculo cuadrigémino posterior hasta el cuerpo geniculado interno.

-La quinta neurona se dirige desde el cuerpo geniculado hasta el córtex temporal, a nivel del centro auditivo, de manera que cada oído está en relación con los dos córtex.

c) Fibras eferentes: van desde el bulbo al órgano de Corti. Su trayecto bulbar y radicular fue bien estudiado por Rasmussen; su trayecto coclear y sus terminaciones, por M. Portmann y C. Fernández. Estas fibras nacen en la parte superior de la oliva bulbar homolateral y contralateral; es decir, parcialmente en el núcleo del cuerpo trapezoides, dirigiéndose hacia el cuarto ventrículo, pasando la línea media, caminando seguidamente hacia los núcleos después del nervio vestibular, enrollándose en espiral alrededor del nervio auditivo en la cóclea, para terminarse en cada piso en el órgano de Corti, junto a las células sensoriales.

Este fascículo eferente es parte de un vasto sistema de control de escalas inferiores por los centros superiores a lo largo de la vía auditiva.

El fenómeno auditivo desde el órgano de Corti está sometido a unas incitaciones llegadas de los centros superiores gracias a las fibras eferentes.

El oído: complicado y delicadísimo sentido que permite transformar los sonidos y los ruidos en impulsos nerviosos

Para explicar de forma ordenada las distintas fases de que se compone el proceso de la audición, tendremos en cuenta, como se mencionó anteriormente, que la onda sonora deberá transmitirse desde un ambiente gaseoso como es la atmósfera, a uno líquido. Naturalmente este paso, por razones eminentemente prácticas, deberá ocurrir sin una pérdida excesiva de energía, es decir, deberá ser un trabajo de alto rendimiento.

Trataremos de describir las modalidades de transmisión de la onda sonora y luego la percepción propiamente dicha:

Un ventajoso dispositivo de transmisión

Las ondas sonoras que se propagan en el exterior son recogidas por el pabellón y encausadas a lo largo del conducto auditivo externo, hasta llegar a la membrana timpánica. Esta, alcanzada por las ondas entra en vibración y, dado que establece relaciones con la cadena de los huesecillos, pone en movimiento al martillo, yunque y estribo. Dado que este último está encajado en la ventana oval, en la que se mueve como un pistón, las vibraciones de la membrana timpánica son transmitidas por un gas (el aire) a un líquido (la perilinfa).

La cadena de los huesecillos actúa en el conjunto como una palanca de primer género, en la que el "fulcro" está representado por una línea que pasa a través del ligamento anterior del martillo y el proceso breve del yunque; el "brazo de potencia" (es decir, la distancia que separa el fulcro del punto de aplicación de la fuerza) viene dado por el mango del martillo, y el "brazo de la resistencia" está representado por la apófisis larga del yunque. Ya que el brazo de la potencia es más largo que el de la resistencia, la palanca resultará ventajosa; además, la superficie vibrante de la membrana timpánica es mucho mayor que la apertura de la ventana oval en la que se articula el estribo; por tanto, la energía de la onda sonora se transmite del aire a los líquidos del oído interno (perilinfa y endolinfa) sin pérdidas excesivas, como por el contrario debería ocurrir si el paso fuese directo, dada la mayor densidad de los líquidos respecto al aire.

Podemos entonces afirmar:

- Papel del pabellón: capta el sonido, quien hace vibrar el tímpano y la cadena osicular.
- Papel del tímpano: la membrana vibra con el efecto de las ondas acústicas y transmite este movimiento a la cadena de huesecillos.

- Papel de los huesecillos: son puestos en movimiento por el juego del tímpano y aseguran una transmisión global y masiva de las vibraciones. Como se dijo anteriormente, si se compara la superficie del tímpano con la de la platina del estribo, se ve que el sistema timpanoosicular desempeña también un papel de multiplicación de la presión de las ondas sonoras, casi únicamente debida a la relación de la superficie del tímpano con la del estribo, que es del orden de 1 a 20. Este crecimiento se debe a la presencia de los músculos cuya contracción puede hacer variar las características físicas, ya que el sistema osicular posee

igualmente un papel de protección del oído interno que luego estudiaremos.

Los líquidos no son comprimibles, por lo tanto, para que se puedan dar los movimientos del estribo debe haber alguna estructura que se deje deformar: ésta está representada por la membrana de la ventana redonda. De este modo las vibraciones de la membrana timpánica, a través de la cadena de huesecillos y los líquidos del oído interno, repercuten sobre la membrana de la ventana redonda.

Ya que el estribo funciona como un pistón dentro de la ventana oval, se provocan variaciones de presión que recorren los líquidos del oído interno como una onda. Esta onda, una vez que se ha propagado en el líquido, encontrará células especializadas que la transformarán en impulso nervioso, el cual después llegará al sistema nervioso central, donde se clasificará y será reelaborado oportunamente.

Las ventanas, como vemos, juegan un papel importante ya que las vibraciones acústicas pasan rápidamente al oído interno por medio de la platina del estribo, poniendo en movimiento los líquidos perilinfáticos, gracias a la acción compensadora de la ventana redonda.

El movimiento de la platina del estribo en la ventana oval transmite el sonido a los líquidos y la ventana redonda, provista de membrana elástica, desempeña el papel de un manómetro dinámico. Esta acción compensadora no es posible más que si existe una diferencia de presión o de fase en las vibraciones acústicas que se producen en una u otra ventana.

En estado fisiológico, el sistema timpanoosicular capta las vibraciones para transmitir las únicamente a la ventana oval y protege, por el contrario, a la ventana redonda. La diferencia en el resultado es tal que permite a la membrana de la ventana redonda moverse en el sentido inverso del de la platina del estribo, lo que asegura la existencia de movimiento del líquido endolabérntico y, por tanto, la excitación del VIII par.

Para que las ondas lleguen sin dificultad al oído interno:

- es necesaria la integridad de las dos ventanas;
 - las vibraciones del líquido laberíntico serán tanto más grandes cuanto la diferencia de presión o de fase de las ondas acústicas, atacando a las dos ventanas, sea más importante.
- Líquidos y canal coclear: la presión alternante de la platina del estribo determina en cada ciclo (o hertz) dos fenómenos distintos, pero indisociables y ligados por una relación de causa-efecto:

a-Un desplazamiento en masa inmediato y brusco de una parte de los líquidos laberínticos, gracias a la acción compensadora de la ventana redonda.

b-Este desplazamiento en masa de los líquidos laberínticos engendra una deformación de la membrana basilar. Del hecho de las características físicas y de las posibilidades de resonancia de esta estructura, la repetición alternativa de esta deformación provoca una onda de propagación a lo largo de esta membrana basilar. Esta onda se dirige desde la región de las ventanas hacia el helicotrema, entrando en reposo y avanzando la onda delante de la zona de reposo.

Para cada ciclo del sonido estímulo se reproducen estos mismos fenómenos. De manera que no tenemos una onda, sino varias ondas de propagación sucesivas batiendo en la frecuencia del estímulo y caminando a lo largo de la membrana basilar que así entra en resonancia. Estas ondas no recorren la misma distancia siguiendo la frecuencia del estímulo, lo cual es debido a las características del órgano; la membrana basilar es tanto más grande y tanto menos rígida cuanto más se aleje de las ventanas para aproximarse al helicotrema.

Así estas ondas se apagan bruscamente cuando llegan a un nivel tanto más alejado de la

región de las ventanas cuanto más grave sea el sonido; inversamente, las ondas se detienen a un nivel en la escala coclear tanto más aproximado a la región de las ventanas cuanto más agudo sea el sonido estímulo. El sonido más grave engendra unas ondas que recorren toda la escala coclear hasta el helicotrema, lo que provocará la excitación de todas las fibras del nervio auditivo. Un sonido muy agudo determinará una onda de propagación que morirá muy rápidamente cerca de su origen en el comienzo de la primera espira coclear: sólo las fibras nerviosas de esta región serán excitadas.

Este límite vibratorio es siempre el mismo para unos estímulos de frecuencia dada, cuando depende de características físicas de resonancia de la membrana basilar. El máximo vibratorio está situado inmediatamente delante de este límite para las intensidades débiles o medias, pudiendo alargarse y acercarse a la región de las ventanas para unas intensidades más fuertes.

Como hemos visto, el conjunto de las diferentes estructuras que incumben el oído externo, oído medio, cápsula ótica (las ventanas), o el oído interno (medio humoral, membrana basilar), contribuyen a la transmisión de las vibraciones hasta el órgano de Corti.

Esta conducción, cualquiera que sea su soporte anatómico (oído externo, medio o interno), está siempre regida por las mismas leyes. La vibración acústica está parada o disminuida en su encaminamiento por una fuerza de impedimento o impedancia que le oponen los medios que atraviesa. Esta impedancia está en función de cierto número de factores que representan unas cualidades físicas diversas, unas estructuras anatómicas del oído.

El impedimento al paso de las vibraciones o impedancia:

- es tanto mayor, cualquiera sea la frecuencia de la vibración, cuanto más intensos sean los "rozamientos". Este factor "rozamiento" está casi siempre aumentado, cualquiera sea la lesión de transmisión en causa;

- es tanto mayor cuanto más importante sea la "masa", y ésta, tanto mayor cuanto más agudo sea el sonido;

- es tanto mayor cuanto más importante sea la rigidez, y este hecho es tanto más manifiesto cuanto más grave sea el sonido. La rigidez favorece el paso de las frecuencias agudas, pero impide la transmisión de frecuencias graves.

En la práctica, estos tres factores (rozamiento, masa y rigidez), que corresponden a las cualidades físicas de las estructuras que aseguran la transmisión de los sonidos están más o menos modificados, cualquiera que sea la lesión, de manera que en el conjunto la sordera del aparato de transmisión afecta uniformemente todas las frecuencias del espectro o es de predominancia en los graves, ya que la rigidez es el factor más a menudo causante.

Aparato de percepción

Las vibraciones acústicas -todo lo que nos queda del terreno puramente mecánico- se efectúan por estas transmisiones sucesivas, que así llegan hasta las células sensoriales. Estas últimas son excitadas en el momento de la onda de propagación, la longitud de la membrana basilar por desplazamiento de su superficie en relación con la membrana tectoria, sobre la cual contactan sus cilios.

Percepción propiamente dicha

Aquí comienza el verdadero sentido de la audición; es el primer estadio de la integración

auditiva en el sistema nervioso.

El órgano de Corti funciona como un "traductor" de energía mecánica en energía nerviosa. Es un verdadero "selector" que debe traducir en influjos nerviosos las vibraciones acústicas con todas sus cualidades.

Por lo tanto, la función principal de órgano de Corti es la transformación en influjos específicos de las diferentes características del sonido. Cualquiera sean los mecanismos íntimos de la excitación de las fibras nerviosas a su nivel, veremos cómo las características del estímulo pueden ser traducidas en impulsos nerviosos. Tomaremos entre las cualidades del sonido dos ejemplos y estudiaremos especialmente el problema de la frecuencia y la intensidad.

Comenzaremos recordando algunas nociones de fisiología nerviosa elemental.

Ley del todo o nada: para una fibra determinada, el influjo nervioso no se produce más que a partir de cierto nivel de intensidad del estímulo, y es siempre el mismo y no puede variar ni en amplitud ni en duración; el crecimiento de la intensidad no puede traducirse más que por el aumento de la frecuencia por segundo de tales influjos, hasta un máximo dependiente de la fase refractaria de la fibra, de ahí que otras fibras sean necesarias para asegurar el aumento del número de influjos por segundo.

Ley de la fase refractaria: Luego de cada influjo existe una fase refractaria de inexcitabilidad.

Para la fibra auditiva es de 1/1000 seg.

La cóclea no puede, por consiguiente, actuar más que sobre el número y la frecuencia del influjo por segundo para crear en el VIII par una sucesión de influjos que lleva la marca del sonido que lo ha hecho nacer.

Según la Volley Theory de Wever, se puede afirmar que:

-El número de influjos transmisible por segundo en una sola fibra nerviosa auditiva no puede exceder de 1000, debido a la fase refractaria, y no podría ser superior a la frecuencia del estímulo sonoro, si ésta es inferior a 1000 ciclos por segundo.

-En lo concerniente al conjunto del nervio auditivo, es el número total de influjos nerviosos por segundo lo que da la traducción de la intensidad.

Para esta teoría, esto sería la frecuencia rítmica de los influjos por segundo, lo que sería la traducción de la frecuencia. Debido a la fase refractaria de 1/1000 seg., el nervio estaría obligado a entrar en disfase después de la frecuencia 1000 ciclos por segundo, luego en trisfase sobrepasados los 2000, etc., pero no se encuentra esta perfecta sincronización de los potenciales nerviosos, salvo, quizá, para las frecuencias bajas.

Por lo tanto es necesario admitir otro mecanismo.

Para la imagen de influjo de la frecuencia intervendría más pronto la repartición de los influjos nerviosos sobre el teclado formado por el conjunto de las fibras del nervio auditivo. Así, de la posición de la zona estimulada de la membrana basilar puede depender la sensación de altura. El máximo de vibraciones, estando situado cerca del helicotrema para los graves y cerca de la ventana oval para los agudos, la membrana basilar vibra desde la región de las ventanas hasta un límite un poco más allá de esta zona máxima, tanto más próxima a las ventanas cuanto más agudo sea el sonido.

Continuando con la percepción propiamente dicha, estudiaremos ahora la Recepción por los centros superiores:

Así, la imagen del influjo "puesta en forma" a nivel del órgano de Corti, recorre seguidamente el nervio para finalizar en los núcleos bulbares. De allí camina a través de las

vías y las escalas homo y heterolaterales para impresionar al fin los centros auditivos temporales derecho e izquierdo. A lo largo de este recorrido es integrada por los centros; es decir, que sufre numerosas influencias provenientes de diferentes sistemas, constituyendo el aparato nervioso central a fin de incorporársele.

A nivel de las células corticales se produce la transformación del influjo nervioso en sensación consciente del sonido; es decir, el fenómeno neurosensorial puro.

Pero, además de este simple fenómeno, el sonido puede ser integrado a nivel psicointelectual y debe tomar un valor significativo para el sujeto. Intervienen en la función auditiva unos mecanismos neurofisiológicos, tales como la atención, la habituación, el condicionamiento, la memorización. Las operaciones de integración auditiva pueden esquematizarse en tres estados:

- El primer grado de identificación, que comienza en la "puesta en forma" por la cóclea, responde a las características acústicas de un estímulo sonoro simple (el sonido puro, por ejemplo).

- El segundo grado responde a la identificación de elementos sonoros más complejos en tanto a la forma temporal (los ruidos o los fonemas). Necesita, pues un condicionamiento previo y el registro por la memoria.

- El tercer grado conduce a la simbolización de los mensajes, que se cargan de un valor informativo, e incluso a la noción de concepto abstracto (los vocablos).

- Por último existe un cuarto grado que sería específicamente humano, y reside en la comprensión de un conjunto de elementos sonoros simbólicos, cada uno individualmente estructurado en el estado precedente; esto es la realización del lenguaje. Si el oído está en el origen del lenguaje, éste necesita unos mecanismos intelectuales superiores que superen la noción de audición propiamente dicha.

Por otra parte, digamos que las dos vías, derecha e izquierda, finalizan ambas en los dos córtex, derecho e izquierdo, pero que existe un predominio contralateral, así como una lateralización, pareciendo más fundamental el lóbulo izquierdo que el derecho en el diestro.

Audición binaural

La intimidad entre los dos sistemas auditivos centrales derecho e izquierdo acaba de ser evocada. Sería interesante ahora ver si el hecho de poseer en la periferia dos oídos distintos mejora la eficacia de la audición.

La audición binauricular es habitual en la vida corriente y aporta una comodidad superior a la audición monoaural, sobre todo en ciertas circunstancias (por ejemplo varias fuentes de sonido localizadas en unos puntos diferentes en el espacio, sonidos percibidos en un ambiente ruidoso que provoca un efecto de máscara, etc.)

Los fisiólogos buscaron analizar los factores responsables de esta comodidad auditiva: En lo concerniente al umbral de intensidad y a la sonoridad supraliminar, puede decirse que la audición binaural entraña un descenso del umbral de tres decibelios en relación con la audición monoaural (Caussé y Chavasse). Esta mejora de la sonoridad puede llegar hasta seis decibelios (a partir de 35 dB del umbral) en la zona supraliminar, lo cual está lejos de ser desdeñable.

Al igual, la sensibilidad diferencial del sistema auditivo está limpiamente mejorada en binauralidad (umbral diferencial de intensidad). Por otra parte, el efecto de máscara de un oído sobre el otro es muy variable según las características físicas de los sonidos

enmascarador y enmascarados. Un ensordecimiento contralateral puede inhibir o facilitar la audición (Chocholle).

El elemento fundamental de la comodidad de la audición reside en el poder de localización de las fuentes sonoras que ésta procura. Este sentido espacial no es únicamente debido a la existencia de dos oídos sino también a otros factores como la presencia y la orientación de los pabellones (muy desarrollados y móviles en ciertos animales). Es, no obstante, el elemento fundamental en el hombre. Para los sonidos bastante largos, la binauralidad permite unas diferencias de fase (debido a la posición de la cabeza en relación con la fuente sonora y en relación entre la longitud de onda y la distancia binauricular) y de intensidad entre los dos lados. El desfase interviene para localizar la dirección de la fuente sonora si la longitud de onda es bastante grande; esto es para los sonidos graves. La intensidad sería, al contrario, más útil para localizar las fuentes sonoras agudas. Si el sonido es muy breve, la diferencia del tiempo de llegada a cada oído parece ser el factor fundamental. Por último, es necesario insistir en otro factor fundamental: los movimientos de la cabeza. Estos últimos asociados a la binauralidad, permiten hacer variar la fase e intensidad en cada uno de los dos oídos, lo que aumenta la sensación espacial del mundo sonoro.

Dispositivos de seguridad

Nos queda aún por tratar la función de los dos pequeños músculos del oído medio y de la trompa de Eustaquio. Estas estructuras, en un cierto sentido, pueden ser comparadas a las "válvulas de seguridad" existentes en muchos motores.

Como protección contra los sonidos demasiado intensos están los músculos estapedio y tensor del tímpano, los cuales, al contraerse en dirección perpendicular a la del movimiento de los huesecillos, hacen más rígido el sistema de transmisión y terminan así por atenuar los efectos de dichos sonidos con altas intensidades. Estos músculos tienen clásicamente una acción antagonista, pero su contracción es refleja y simultánea; el resultado es un aumento de la impedancia por rigidez del sistema de transmisión osicular, lo que disminuye la amplitud de las vibraciones. Este sistema muscular protege al oído interno contra las vibraciones sonoras demasiado intensas. La rigidez que procura la tensión de los dos músculos hace disminuir principalmente los sonidos de frecuencias graves, dejando pasar, por el contrario, los sonidos agudos. Si la intensidad del sonido estímulo es excesivamente fuerte, los dos músculos se contraerán al máximo, inmovilizando totalmente la cadena de huesecillos, con lo cual el sonido no podrá, pues, impresionar a los líquidos del oído interno más que por la ventana redonda, procurando así la mayor disminución posible de las vibraciones acústicas, ya que no hay más que una única ventana que funcione. Sin embargo, ya que para entrar en acción estos músculos necesitan un cierto tiempo, aunque mínimo, no logran proteger el oído, por ejemplo en el caso de una explosión; en este caso, de hecho, además de las ondas sonoras se propagan, y a una velocidad muy superior, violentas ondas de explosión con características muy distintas a las demás ondas sonoras que llegan a dañar el aparato auditivo antes que el dispositivo de seguridad haya tenido tiempo para intervenir.

En cuanto a la trompa de Eustaquio, ésta comunica el oído medio con el ambiente exterior con el fin concreto de asegurar que la presión de aire en la caja del tímpano sea lo más idéntica posible a la exterior. Normalmente el orificio con que la trompa desemboca en la faringe está cerrado, y se abre luego de la contracción de un músculo llamado tensor del

paladar. Una contracción de este tipo produce al bostezar, deglutir o estornudar.

Cuando, por ejemplo, un avión despegue o aterrice, los pasajeros se ven sometidos a bruscas variaciones de presión y deben adaptar de alguna manera la presión existente en sus oídos medios a la del ambiente exterior. En este caso la deglución, hecha instintivamente, abre el orificio faríngeo de la trompa de Eustaquio igualando así las presiones.

Ya que la onda sonora es una forma de transmisión de energía, habrá frecuencias óptimas y frecuencias decididamente nocivas. En cuanto a la intensidad de los sonidos, la superación de ciertos límites también es, sin duda, altamente peligrosa para el oído humano.

Un último e importante sistema de protección está constituido por las fibras eferentes del nervio coclear que constituyen el haz olivo-coclear de Rasmussen, que desde el neuroeje se dirigen a la base de las células acústicas: estas fibras son excitadas por estímulos sonoros demasiado intensos y ejercen una función inhibidora sobre la respuesta de las células acústicas.

Integración temporal

Veremos cómo reacciona el oído frente a los ya explicados ruidos impulsivos: es interesante señalar que algunos ruidos, aún muy intensos (martillo neumático de más de 130 db), producen menos sensación que otros de intensidad menor (turbina de aviación de 110 db). La explicación se encuentra en la llamada Integración Temporal, concepto ligado al tiempo de duración del estímulo. Si éste es muy corto, la intensidad debe ser muy grande para hacerlo audible o compararlo con otro. Por ejemplo, el umbral de enmascaramiento de un sonido de 1 ms. de duración es 29 db mayor que el mismo sonido pero de 1000 ms. de duración. Esto se debe a que la integración temporal es procesada en niveles más altos que el oído mientras que las células ciliadas son muy sensibles al comienzo del estímulo. Se considera que la constante de tiempo del oído interno es de 30 microsegundos, en cambio las neuronas están en valores de más de 50 milisegundos para todo el nervio. Esto explicaría el muy rápido daño de las células ciliadas, con ruidos impulsivos de muy corta duración. La relación con el daño auditivo, hay que establecerlo en las diferentes condiciones que pueden darse: ruido continuo (máquina con turbina), ruidos repetidos rápidamente (desde un motor diesel hasta un martillo neumático), ruidos superpuestos a los existentes, por ejemplo tableteo de una ametralladora (serie de ruidos rápidos) en medio del ruido de motores, o ruidos impulsivos más o menos ampliamente separados (disparos de rifles o pistolas). La influencia de cada uno de estos ruidos no es fácil de establecer y comparar.

Asimismo deben considerarse los efectos de los sistemas auditivos de protección (reflejos acústicos) y los fenómenos normales de recuperación auditiva. Estos conceptos ya permiten determinar que no pueden establecerse relaciones directas entre la energía emitida por la fuente de RI y el daño auditivo. Tampoco resulta indiferente la frecuencia del RI y su relación con el daño infligido.

Para muchos autores los RI producirían mayor daño en la frecuencia 6000 que en la 4000, dato que los diferenciaría de las consecuencias de la exposición a los ruidos continuos (RC). Esta parecería una situación paradójica dado que, como vemos, el daño mayor siempre está en el área del 4000-6000 Hz mientras que el análisis espectral de la mayor parte de los ruidos traumáticos está en la gama de 200-2000 Hz. Eso se debería a que los sonidos más intensos, especialmente los de los RI, tienen muy corta duración (20-50 microsegundos)